

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant : Michael Glueck
Serial No. : 10/695,665
Filed : October 29, 2003
Title : POWER CONTROL FOR HIGH FREQUENCY AMPLIFIERS

Art Unit : Unknown
Examiner : Unknown

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

TRANSMITTAL OF PRIORITY DOCUMENT UNDER 35 USC §119

Applicant hereby confirms his claim of priority under 35 USC §119 from the following application(s):

German Application No. 102 50 229.3 filed October 29, 2002.

A certified copy of each application from which priority is claimed is submitted herewith.

Please apply any charges or credits to Deposit Account No. 06-1050.

Respectfully submitted,

Date: 12/15/03

Mark R. W. Bellermann
Reg. No. 47,419

Fish & Richardson P.C.
1425 K Street, N.W.
11th Floor
Washington, DC 20005-3500
Telephone: (202) 783-5070
Facsimile: (202) 783-2331

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 102 50 229.3
Anmeldetag: 29. Oktober 2002
Anmelder/Inhaber: HÜTTINGER Elektronik GmbH + Co KG,
Freiburg im Breisgau/DE
Bezeichnung: Leistungsregelung für Hochfrequenzverstärker
IPC: H 03 G, H 03 F

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 06. November 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Kahle

1
22.10.03

Stuttgart, 25.10.02

25194 Sz

Anmelder:

5 Hüttinger Elektronik GmbH + Co. KG
Elsässer Straße 8
79110 Freiburg

Vertreter:

10 Kohler Schmid + Partner
Patentanwälte GbR
Ruppmannstraße 27
D-70565 Stuttgart

Bezeichnung der Erfindung:

Leistungsregelung für Hochfrequenzverstärker

20

BESCHREIBUNG

25

Stand der Technik

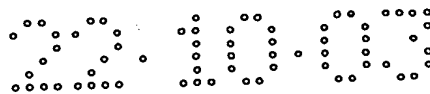
Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Regeln der Eingangsspannung eines Hochfrequenzverstärkers und eine Regelanordnung zur Durchführung des Verfahrens.

30

Die Regelung der Ausgangsspannung und damit der Leistung der meisten im Schaltbetrieb arbeitenden Hochfrequenzverstärkern (HF-Verstärker), z.B. Klasse E-Verstärkern, kann nur über die Regelung der Eingangsspannung des HF-

35

Verstärkers erfolgen. Diese Eingangsspannung ist gleich der



Ausgangsspannung einer Gleichstromversorgung. Somit ist die Gleichstromversorgung in die Regelung einbezogen. Gleichstromversorgungseinheiten, insbesondere solche, die im geschalteten Betrieb arbeiten, sind wegen eines vorgegebenen internen Taktes und vorhandener Filterelemente häufig zu langsam, um die Eingangsspannung eines HF-Verstärkers für Plasmaprozesse oder die Laseranregung zu regeln.

Aus der US 4,809,216 ist es bekannt, unmittelbar vor dem HF-Verstärker ein lineares Längsglied vorzusehen. Bereits in dieser Druckschrift wird erkannt, dass mit dieser Maßnahme ein großer Leistungsverlust und eine hohe Wärmeentwicklung verbunden ist. Wegen der hohen Leistungsverluste ist eine vollständige Spannungsregelung mit einem linearen Längsglied nicht möglich. Deshalb schlägt die US 4,809,216 vor, ein schnelles geschaltetes Längsglied zu verwenden. Ein solches schnelles geschaltetes Längsglied ist jedoch im Aufbau aufwändiger als eine herkömmliche Gleichstromversorgungseinheit. Außerdem weist ein geschaltetes Längsglied eine Spannungsquellencharakteristik und damit einen geringen Innenwiderstand auf. Dadurch können sich unerwünschte Resonanzen leicht anregen, die unzureichend bedämpft werden.

Aufgabe der Erfindung

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren zum schnellen und verlustarmen Regeln der Eingangsspannung eines HF-Verstärkers zu schaffen, sowie eine Regelanordnung zur Durchführung des Verfahrens bereitzustellen.

Gegenstand der Erfindung

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch ein Verfahren zum Regeln der Eingangsspannung eines Hochfrequenzverstärkers gelöst, bei dem die in eine Last gelieferte und/oder von der Last reflektierte Leistung gemessen wird, eine erste Stellgröße für ein dem Hochfrequenzverstärker vorgeschaltetes Längsglied aus der gemessenen Leistung und einem vorgegebenen Sollwert ermittelt wird und eine zweite Stellgröße für eine geschaltete Gleichstromversorgungseinheit aus dem Spannungsabfall über dem Längsglied ermittelt wird, derart, dass der Spannungsabfall über dem Längsglied einen vorgegebenen Maximalwert nicht überschreitet und einen vorgegebenen Minimalwert nicht unterschreitet.

Unter Last im Sinne der Erfindung wird eine einfache Last, insbesondere ein Plasmaprozess oder eine Laseranregungsstrecke verstanden. Unter Last wird im Sinne der Erfindung aber auch eine Kombination aus einer oben genannten einfachen Last und einem vorgeschalteten Anpassungsnetzwerk und/oder einer Übertragungsleitung oder weiterer Bauteile verstanden.

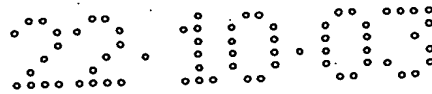
Wenn im Folgenden von Leistungsmessung die Rede ist, wird darunter immer die Messung der Vorwärtsleistung, der reflektierten Leistung oder beider Leistungen verstanden.

Die Kombination einer Regelung für das Längsglied und einer Regelung für die Gleichstromversorgungseinheit hat den Vorteil, dass durch das Längsglied eine schnelle Regelung bzw. Anpassung der in eine Last gelieferten Leistung erfolgen kann. Dabei ist die Ausgangsspannung des Längsglieds gleich der Eingangsspannung des HF-Verstärkers. Die am Ausgang des

2000

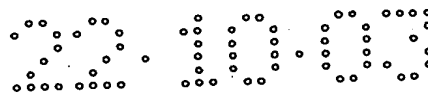
Leistungsverstärkers gemessene Leistung, also die in Richtung der Last gelieferte, die von der Last reflektierte Leistung oder Anteile von beiden, ist die zu regelnde Größe, also die Regelgröße. Die in die Last gelieferte

- 5 und/oder von der Last reflektierte Leistung wird in der Regel indirekt über Richtkoppler gemessen. Es werden also die Vorwärtsleistung, die reflektierte Leistung oder beide Leistungen gemessen. Die von der Last reflektierte Leistung ist ein Maß für die Güte der Anpassung. Tritt eine große
- 10 reflektierte Leistung auf, so muss die Ausgangsleistung so geregelt werden, dass der Leistungsverstärker vor Zerstörung geschützt wird und weniger Leistung reflektiert wird. Dadurch, dass über die Regelung der Gleichstromversorgungseinheit der Spannungsabfall über dem Längsglied in vorbestimmten Grenzen gehalten wird, kann die im Längsglied verbrauchte Leistung beeinflusst und im Vergleich zum Stand der Technik reduziert werden. Außerdem können größere Leistungsbereiche über einen größeren Zeitbereich über die Gleichstromversorgungseinheit geregelt werden. Ein weiterer
- 20 Vorteil des Verfahrens liegt darin, dass die HF Belastung der Gleichstromversorgungseinheit unterdrückt wird. Durch Pulsen, z.B. bei Laseranwendungen, oder durch Instabilitäten, z.B. bei Plasmaanwendungen werden in der Gleichstromversorgungseinheit Schwingungen angeregt. Diese wiederum
- 25 regen L-C-Filterglieder (Serieninduktivität L und Parallelkapazität C) an den Ausgängen der Gleichstromversorgungseinheit zu Schwingungen aufgrund ihrer Eigenresonanz an. Die HF Belastung der Gleichstromversorgungseinheit wird dadurch reduziert, dass das Längsglied dämpfend auf die
- 30 Schwingungsanregung der L-C-Filterglieder der Gleichstromversorgungseinheit wirkt.



Bei einer bevorzugten Variante des Verfahrens ist die Regeldauer für die Regelung des Längsglieds kürzer als die für die Gleichstromversorgungseinheit. Insbesondere beträgt die Regeldauer für die Regelung des Längsglieds bevorzugt weniger als 10 ms, typischerweise zwischen 10 μ s und 1 ms. Durch diese Maßnahme kann eine langsame Regelung der Verlustleistung des Längsglieds über die Gleichstromversorgungseinheit und eine schnelle Leistungsregelung des HF-Verstärkers über das Längsglied erfolgen. Die Regeldauer für die Gleichstromversorgungseinheit für sich ist zu lang, um den HF-Verstärker z.B. zur Laseranregung zu verwenden. Die zwischengeschaltete schnelle Leistungsregelung des Längsglieds ermöglicht eine Verwendung des HF-Verstärkers u.a. zur Laseranregung bei gleichzeitiger Minimierung der Verlustleistung in der Ansteuerung des HF-Verstärkers. Somit wird die erforderliche Dynamik der Eingangsspannung des HF-Verstärkers erreicht.

Bei einer weiteren Verfahrensvariante wird aus der an einem Schalterelement des HF-Verstärkers anliegenden Spannung U_{DS} und einem Sollwert für die maximale Spannung U_{DS} eine dritte Stellgröße und/oder aus der am Ausgang des Hochfrequenzverstärkers gemessenen Leistung und einem vorgegebenen Sollwert für die Leistung eine vierte Stellgröße für das Längsglied ermittelt. Durch diese Maßnahme wird der HF-Verstärker geschützt. Wenn der aktuelle Wert der Spannung U_{DS} oder die im HF-Verstärker erzeugte Leistung von vorgegebenen internen Sollwerten abweichen, wird über die dritte oder vierte Stellgröße so in das Längsglied eingegriffen, dass die aktuellen Werte für U_{DS} und die erzeugte Leistung in einem zulässigen Bereich liegen. Dieser Bereich ist so gewählt, dass der HF-Verstärker und nachfolgende Bauelemente bzw. Baugruppen nicht zerstört werden.



Bei einer Verfahrensvariante wird aus einem am Ausgang des Längsglieds gemessenen Strom und einem vorgegebenen internen Sollwert für den maximalen Strom eine fünfte Stellgröße ermittelt. Wenn der aktuelle Wert des Stroms über den vorgegebenen Maximalwert steigt, wird das Längsglied so gesteuert, dass der Strom in den zulässigen Bereich kommt. Durch diese Maßnahme wird das Längsglied geschützt und der Leistungsverbrauch im Längsglied eingestellt.

10

Besonders vorteilhaft ist es, wenn dem Längsglied nur die Stellgröße (erste oder dritte oder vierte oder fünfte Stellgröße) zugeleitet wird, die die stärkste Regelung vornimmt. Auf diese Weise wird das Längsglied durch diejenige Stellgröße beeinflusst, die die vorrangige Regelung vornimmt.

15

Wenn die Regeldauer für die erste, dritte, vierte oder fünfte Stellgröße $\ll 10$ ms ist, kann das Längsglied so schnell beeinflusst werden, dass Spannungsschwankungen (Ripple) am Anodenpotential einer dem HF-Verstärker nachgeschalteten Röhrenendstufe ausgeglichen werden können, wobei die Spannungsschwankungen durch die endliche Glättung der gleichgerichteten Hochspannung am Anodenpotential verursacht sein können. Hier ist zu beachten, dass die Last des HF-Verstärkers der Eingang der nachgeschalteten Röhrenendstufe ist. Am Ausgang der Röhrenendstufe ist wiederum eine oben genannte einfache Last oder eine vorbeschriebene Kombination von Lasten angeschlossen. Die erste Stellgröße wird dabei aus der am Ausgang der Röhrenendstufe gemessenen Leistung ermittelt.

20

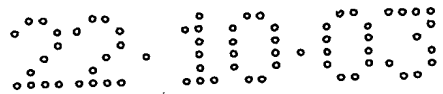
25

30

201003

Bei einer besonders bevorzugten Verfahrensvariante werden das Längsglied und ein mit dem Hochfrequenzverstärker in Verbindung stehender Oszillator synchron ein- und ausgeschaltet. Diese Maßnahme ermöglicht eine Unterbrechung der Gleichstromversorgung und dadurch einen gepulsten Betrieb eines als Last betriebenen Lasers oder Plasmas und kontrollierte Startbedingungen für den HF-Verstärker. Das Ein- und Ausschalten der Gleichstromversorgungseinheit wäre für einen gepulsten Betrieb zu langsam. Dem könnte durch An- und Ausschalten des mit dem HF-Verstärker verbundenen Oszillators begegnet werden. Die Gleichstromversorgungseinheit würde aber durchgehend Strom liefern und die Kondensatoren im HF-Verstärker aufladen, woraus sich veränderte Startbedingungen ergeben. Das synchrone und schnelle Ein- und Ausschalten des Längsglieds und des Oszillators ermöglicht dagegen eine hohe Pulsfrequenz und kontrollierte Startbedingungen für den HF-Verstärker.

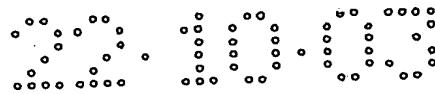
Bei einer Weiterbildung wird mindestens eine Regelstufe synchron mit dem Längsglied an- und ausgeschaltet. Vorzugsweise werden die erste Regelstufe zur Ermittlung der ersten Stellgröße, eine dritte Regelstufe zur Ermittlung der dritten Stellgröße, eine vierte Regelstufe zur Ermittlung der vierten Stellgröße und eine fünfte Regelstufe zur Ermittlung der fünften Stellgröße synchron mit dem Längsglied an- und ausgeschaltet. Somit wird vermieden, dass während das Längsglied ausgeschaltet ist, was eine geringe Leistungsabgabe des HF-Verstärkers zur Folge hat, eine Nachregelung erfolgt. Es ist auch denkbar, weitere Regelstufen vorzusehen, die auch synchron mit dem Längsglied an- und ausgeschaltet werden.



Die Aufgabe wird erfindungsgemäß außerdem durch eine Regelanordnung eines Hochfrequenzverstärkers mit einem dem Hochfrequenzverstärker vorgeschalteten Längsglied gelöst.

- Dem Längsglied ist eine erste Regelstufe zugeordnet, die aus der in eine Last gelieferten Leistung und/oder der von der Last reflektierten Leistung und einem Sollwert eine erste Stellgröße ermittelt. Weiterhin ist eine geschaltete Gleichstromversorgungseinheit mit einer ihr zugeordneten zweiten Regelstufe vorgesehen, die aus dem Spannungsabfall über dem Längsglied eine zweite Stellgröße ermittelt.

- Die Verwendung der Kombination einer Gleichstromversorgungseinheit und eines Längsglieds hat den Vorteil, dass zum einen über das Längsglied die in eine Last gelieferte bzw. von dieser reflektierten Leistung schnell geregelt werden kann und dass zum anderen durch die vergleichsweise langsame Regelung der Gleichstromversorgungseinheit der Spannungsabfall über dem Längsglied kontrolliert und innerhalb vorgegebener Werte gehalten werden kann. Dadurch kann die Eingangsspannung des HF-Verstärkers, insbesondere eines Klasse E Verstärkers, zur Erreichung einer gewünschten Ausgangsspannung des HF-Verstärkers schnell angepasst werden und die Verlustleistung im Längsglied reduziert werden. Unter schneller Regelung versteht man, dass der die erste Regelstufe umfassende Regelkreis zur Regelung weniger als 10 ms benötigt. Das Längsglied weist eine Stromquellencharakteristik auf und unterbindet daher Resonanzen in der Gleichspannungszuführung des HF-Verstärkers. Die Verwendung eines Längsglieds, mit dem die Eingangsspannung des HF-Verstärkers schnell geregelt werden kann, ermöglicht es, die Spannungsschwankungen der gleichgerichteten Spannung am Anodenpotential einer dem HF-Verstärker nachgeschalteten Röhrenendstufe auszugleichen. Dies geschieht, indem aus der

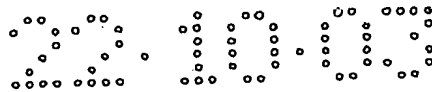


Ausgangsleistung der Röhrenendstufe, welche der in eine Last gelieferten Leistung entspricht, und dem Sollwert für die in eine Last gelieferten Leistung in der ersten Regelstufe eine erste Stellgröße für das Längsglied ermittelt wird.

Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform weist das Längsglied mindestens ein Halbleiterelement, insbesondere einen Transistor auf. Dadurch kann das Längsglied einfach und kostengünstig realisiert werden.

Vorteilhaft ist es, wenn eine dritte Regelstufe zum Ermitteln einer dritten Stellgröße vorgesehen ist, der die an einem Schalterelement des HF-Verstärkers anliegende Spannung U_{DS} zugeführt ist und die mit dem Längsglied in Verbindung steht. Es kann auch eine vierte Regelstufe zum Ermitteln einer vierten Stellgröße vorgesehen sein, der die am Ausgang des HF-Verstärkers gemessene Leistung zugeführt ist und die mit dem Längsglied in Verbindung steht. Die dritte und vierte Regelstufe stellen eine Schutzeinrichtung für den HF-Verstärker dar, in der überwacht wird, dass die Ausgangsleistung des HF-Verstärkers und die am Schalterelement anliegende Spannung keine unzulässigen Werte annehmen, insbesondere solche Werte, die den HF-Verstärker oder nachfolgende Bauelemente zerstören könnten. Als Schalterelement im HF-Verstärker kann vorteilhafterweise ein Feldeffekttransistor vorgesehen sein.

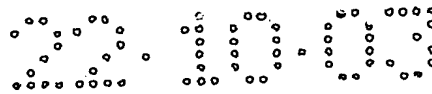
Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist eine fünfte Regelstufe zum Ermitteln einer fünften Stellgröße aus dem am Ausgang des Längsglieds gemessenen Strom und einem vorgegebenen maximalen Sollwert für den Strom vorgesehen, die mit dem Längsglied in Verbindung steht. Durch diese Maßnahme



kann der Strom innerhalb eines definierten zulässigen Bereichs gehalten werden.

Wenn eine Auswahleinrichtung zur Auswahl der an das Längsglied zu übermittelnden Stellgröße vorgesehen ist, wird dem Längsglied diejenige Stellgröße (erste, dritte, vierte oder fünfte Stellgröße) zur Regelung zugeführt, die die größere Regelung vornimmt. Dies ist so zu verstehen, dass in den Regelstufen als Stellgrößen Spannungen erzeugt werden, die zu positiven Spannungen verstärkt werden. Die größte sich ergebende Spannung wird dann für die Regelung des Längsglieds verwendet. Die Auswahlvorrichtung, die die größte Spannung auswählt, besteht vorzugsweise aus Dioden, deren Anzahl der mit der Auswahleinrichtung in Verbindung stehenden Regelstufen entspricht. Es ist auch denkbar, mehr als die oben genannten Regelstufen vorzusehen, die Stellgrößen ermitteln und der Auswahleinrichtung zuführen. Vorzugsweise werden die erste, dritte, vierte und fünfte Stellgröße in den entsprechenden Regelstufen so schnell ermittelt, dass das Längsglied mit einer Regeldauer von $\ll 10$ ms geregelt werden kann.

Bei einer vorteilhaften Ausführungsform ist ein Befehlsgeber, insbesondere ein Pulsgenerator, vorgesehen, der mit einem Oszillator zur Ansteuerung des HF-Verstärkers und dem Längsglied oder einem mit dem Längsglied verbundenen Schaltelement verbunden ist. Diese Maßnahme ermöglicht den Einsatz der erfindungsgemäßen Regelanordnung zum Betrieb eines gepulsten Lasers oder Plasmaprozesses. Dadurch wird beispielsweise ein schnelles Zünden des Lasers ermöglicht. Dies ist nötig, um die vom Laser reflektierte Leistung möglichst gering zu halten. Beim Zünden des Lasers muss der HF-Verstärker zunächst einschwingen. Er benötigt eine ge-



wisse Zeit, bis an seinem Ausgang eine ausreichend hohe Spannung anliegt, um den Laser zu zünden. Bis zu diesem Zeitpunkt ist der Lastwiderstand am HF-Verstärker, also die Laseranregungsstrecke, sehr hochohmig. Dadurch ist der HF-Verstärker stark fehlangepasst. Bei Fehlanpassung wird ein Teil der in die Last gelieferten Energie in den HF-Verstärker zurück reflektiert. Je größer die Fehlanpassung ist, desto mehr Energie wird zurück reflektiert. Die reflektierte Energie wird im Verstärker in Wärme umgewandelt, wodurch die Verstärkerbauteile belastet werden und der Wirkungsgrad sinkt. Um eine Überlastung zu verhindern und einen hohen Wirkungsgrad zu erreichen, ist es daher vorteilhaft, die reflektierte Leistung gering zu halten. Dies kann durch schnelles Zünden des Lasers erreicht werden.

Die Ausschaltung des Längsglieds kann dadurch erfolgen, dass der dem Längsglied als Stellgröße zugeführte Strom an- und ausgeschaltet wird. Da der Strom aber typischerweise von einem Verstärkerglied eingestellt wird, müsste das Verstärkerglied schnell zwischen zwei Stufen springen. Dies kann zu Instabilitäten und der Anregung hochfrequenter Schwingungen führen. Das kann dadurch vermieden werden, dass ein Schalterelement, insbesondere ein elektronischer Schalter eingesetzt wird, der das Längsglied an- und ausschaltet. Ist als Längsglied ein Bipolartransistor vorgesehen, so geschieht dies vorteilhafterweise dadurch, dass das Schalterelement zwischen Basis und Emitter des Bipolartransistors angeordnet wird.

Wenn der Befehlsgeber mit mindestens einer, insbesondere der ersten, dritten, vierten und fünften Regelstufe verbunden ist, dann werden diese Regelstufen synchron mit dem Längsglied an- und ausgeschaltet. Bei geringer vom HF-

22.10.03

Verstärker abgegebenen Leistung aufgrund des abgeschalteten Längsglieds erfolgt also keine Regelung durch die erste, dritte, vierte oder fünfte Regelstufe.

- 5 Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen der Erfindung, anhand den Figuren der Zeichnung, die erfindungswesentliche Einzelheiten zeigen, und aus den Ansprüchen. Die einzelnen Merkmale können je einzeln für sich
- 10 oder zu mehreren in beliebiger Kombination bei einer Variante der Erfindung verwirklicht sein.

22.10.03

Zeichnung

Ausführungsbeispiele der erfindungsgemäßen Regelanordnung
eines Hochfrequenzverstärkers sind in der schematischen
Zeichnung dargestellt und werden in der nachfolgenden Be-
schreibung erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Regelanord-
nung eines Hochfrequenzverstärkers mit zwei Re-
gelstufen;

Fig. 2 eine schematische Darstellung einer Regelanord-
nung eines Hochfrequenzverstärkers mit mehr als
zwei Regelstufen;

Fig. 3 eine schematische Darstellung einer Regelanord-
nung eines Hochfrequenzverstärkers mit einem Be-
fehlsgeber;

Fig. 4 eine schematische Darstellung einer Weiterbildung
der Regelanordnung der Fig. 3.

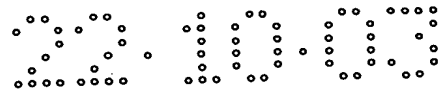
Beschreibung der Ausführungsbeispiele

Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung des Aufbaus ei-
ner Regelanordnung 1 eines Hochfrequenzverstärkers (HF-
Verstärker) 2. Die in eine Last 3 gelieferte (Vorwärtslei-
stung) und/oder von der Last 3 reflektierte Leistung (Rück-
wärtsleistung) wird in einer als Richtkoppler ausgebildeten
ersten Messvorrichtung 4 gemessen und an eine erste Regel-
stufe 5 geleitet. Dies bedeutet, dass die Leistung am Aus-
gang der Regelanordnung 1 vor der Last 3 gemessen wird. Die

22.10.03

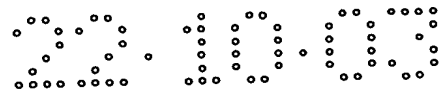
gemessene Leistung umfasst dabei die in die Last gelieferte oder die reflektierte Leistung oder Anteile von gelieferter und reflektierter Leistung. Der ersten Regelstufe 5 wird die gewünschte in die Last 3 gelieferte (Nutz-)Leistung als Sollwert 6 extern vorgegeben. Aus der am Ausgang der Regelanordnung 1 bzw. am Ausgang des gesamten Leistungsverstärkers gemessenen Leistung und dem Sollwert 6 wird in der ersten Regelstufe 5 eine erste Stellgröße ermittelt, die einem Längsglied 7 zugeführt wird. Durch die erste Stellgröße wird über das Längsglied 7 die Eingangsspannung der HF-Verstärkers eingestellt. Der Spannungsabfall über dem Längsglied 7 wird einer zweiten Regelstufe 8 zugeführt, die mittels einer zweiten Stellgröße die als Spannungsquelle ausgebildete geschaltete Gleichstromversorgungseinheit 9 so einstellt, dass der Spannungsabfall am Längsglied 7 einen vorgegebenen Maximalwert nicht über- und einen vorgegebenen Minimalwert nicht unterschreitet. Durch die Begrenzung des Spannungsabfalls über dem Längsglied 7 wird die Verlustleistung im Längsglied 7 reduziert. Die Gleichstromversorgungseinheit 9 und das Längsglied 7 bilden zusammen die Gleichstromversorgung des HF-Verstärkers 2. Die erste Regelstufe 5 und das Längsglied 7 arbeiten so schnell, dass die Regeldauer unter 10 ms, typischerweise zwischen 10 μ s und 1 ms liegt. Die Regelstufe 8 arbeitet langsamer, so dass die Verlustleistung des Längsglieds 7 und größere Leistungsänderungen über einen längeren Zeitraum eingestellt werden.

Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung des Aufbaus einer alternativen Regelanordnung 20 eines HF-Verstärkers 2. In Fig. 2 sind der Fig. 1 entsprechende Blöcke mit gleichen Bezugsziffern bezeichnet. Dem HF-Verstärker 2 ist eine als Röhrenendstufe ausgebildete Endstufe 21 nachgeschaltet. Die



von der Endstufe 21 in die Last 3 gelieferte Leistung, bzw. die am Ausgang der Regelanordnung 20 vor der Last 3 in der ersten Messeinrichtung 4 gemessene Leistung wird der ersten Regelstufe 5 zugeführt, wo aus der gelieferten Leistung und dem vorgegebenen Sollwert 6 eine Stellgröße für das Längsglied 7 ermittelt wird. Die Regelstufe 5 arbeitet in diesem Ausführungsbeispiel besonders schnell, z.B. $\ll 10$ ms. Dadurch wird die Eingangsspannung am HF-Verstärker 2 sehr schnell geregelt. Wegen der schnellen Regelung und der Verwendung der Ausgangsleistung der als Röhrenendstufe ausgebildeten Endstufe 21 als Regelgröße können Spannungsschwankungen (Ripple) an der Anode der Röhre ausgeglichen werden.

Die an einem im Ausführungsbeispiel als Feldeffekttransistor ausgebildeten Schalterelement des HF-Verstärkers 2 anliegende Spannung U_{DS} wird einer dritten Regelstufe 23 zugeführt. In der dritten Regelstufe 23 wird aus der zugeführten Spannung U_{DS} und einem intern vorgegebenen Sollwert eine dritte Stellgröße für das Längsglied 7 ermittelt. Die erste Stellgröße der ersten Regelstufe 5 und die dritte Stellgröße der dritten Regelstufe 23 werden zunächst einer Auswahleinheit 24 zugeführt. Die Vorwärts- und Rückwärtsleistung P_i , P_r werden in einer als Richtkoppler ausgebildeten zweiten Messvorrichtung 22 ermittelt und als Messwert einer vierten Regelstufe 25 zugeführt. Aus den Messwerten und einem intern vorgegebenen Wert wird eine vierte Stellgröße ermittelt, die an die Auswahleinheit 24 weitergegeben wird. Der Auswahleinheit 24 wird außerdem eine fünfte Stellgröße einer fünften Regelstufe 26 zugeführt, in der der aktuelle Stromwert am Ausgang des Längsglieds 7 mit einem vorgegebenen internen Maximalwert für den Strom verglichen wird. Die Auswahleinheit 24 wählt aus, welche Stellgröße an das Längsglied 7 weitergeleitet wird. Die



Auswahl erfolgt im Ausführungsbeispiel über vier Dioden 24a - 24d. Die Regeldauer der ersten, dritten, vierten und fünften Regelstufe 5, 23, 25, 26 liegt deutlich unter 10 ms.

5

Die zweite Regelstufe 8 und die Gleichstromversorgungseinheit 9 erfüllen dieselben Aufgaben wie in Fig. 1.

10

Die Regelanordnung 30 in Fig. 3 entspricht im Wesentlichen der der Fig. 2. Als zusätzliche Elemente weist sie einen Oszillator 31 mit Treiber für den HF-Verstärker 2 und einen als Pulsgenerator ausgebildeten Befehlsgeber 32 auf. Der Befehlsgeber 32 schaltet das Längsglied 7 und den Oszillator schnell und synchron ein und aus, so dass die Regelanordnung für den Betrieb von gepulsten Lasern mit einer Pulsfrequenz von etwa 100kHz eingesetzt werden kann.

15

Fig. 4 zeigt eine Weiterbildung der Regelanordnung 30 der Fig. 3. Das Längsglied 7 ist durch einen als npn-Transistor ausgeführten Bipolartransistor 40 realisiert. Die Stellgrößen aus den Regelstufen 5, 23, 25, 26 der Fig. 3 werden dem Bipolartransistor 40 in Form eines Stromes I_B zugeführt. Dieser Strom I_B wird von einem Verstärkerglied 41 eingestellt. Das Pulsen des Längsglieds 7 erfolgt nicht über den Strom I_B , d.h. das Ein- und Ausschalten des Stromes I_B , sondern über das Schalterelement 42. Die Basis B des Bipolartransistors 40 wird für die Dauer der Austastung mit Hilfe des Schalterelements 42, insbesondere einem elektronischen Schalter, welcher mit dem Befehlsgeber 32 verbunden ist, mit dem Emitter E des Bipolartransistors 40 kurzgeschlossen. Der Befehlsgeber 32 ist außerdem mit den Regelstufen 5, 23, 25, 26 und dem Oszillator 31 verbunden, was durch den Pfeil 43 angedeutet ist. Somit werden während der

20

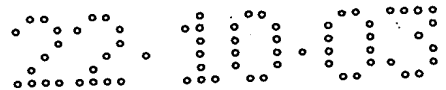
25

30

22.10.03

Ausschaltung des Längsglieds 7 auch die Regelstufen 5, 23, 25, 26 synchron ausgeschaltet.

Bei einem Verfahren zum Regeln der Eingangsspannung eines
5 Hochfrequenzverstärkers 2 wird die in eine Last 3 gelieferte und/oder die von der Last 3 reflektierte Leistung gemessen. Es wird eine erste Stellgröße für ein dem Hochfrequenzverstärker 2 vorgeschaltetes Längsglied 7 aus der gemessenen Leistung und einem vorgegebenen Sollwert 6 und ei-
10 ne zweiten Stellgröße für eine geschaltete Gleichstromversorgungseinheit 9 aus dem Spannungsabfall über dem Längsglied 7 ermittelt, derart, dass der Spannungsabfall über dem Längsglied 7 einen vorgegebenen Maximalwert nicht überschreitet und einen vorgegebenen Minimalwert nicht unter-
15 schreitet. Dadurch kann eine schnelle Regelung der Eingangsspannung des HF-Verstärkers 2 bei gleichzeitiger Minimierung der Verlustleistung im Längsglied 7 erfolgen.



PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zum Regeln der Eingangsspannung eines Hochfrequenzverstärkers (2) mit den folgenden Verfahrensschritten:

a) Messen der in eine Last (3) gelieferten und/oder von der Last (3) reflektierten Leistung;

b) Ermitteln einer ersten Stellgröße für ein dem Hochfrequenzverstärker (2) vorgeschaltetes Längsglied (7) aus der gemessenen Leistung und einem vorgegebenen Sollwert (6);

c) Ermitteln einer zweiten Stellgröße für eine geschaltete Gleichstromversorgungseinheit (9) aus dem Spannungsabfall über dem Längsglied (7), derart, dass der Spannungsabfall über dem Längsglied (7) einen vorgegebenen Maximalwert nicht überschreitet und einen vorgegebenen Minimalwert nicht unterschreitet.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Regeldauer für die Regelung des Längsglieds (7) kürzer als die für die Gleichstromversorgungseinheit (9) ist, insbesondere $< 10 \text{ ms}$ ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass aus der an einem Schalterelement des Hochfrequenzverstärkers (2) anliegenden Spannung U_{DS} und einem Sollwert für die maximale Spannung U_{DS} eine dritte Stellgröße für den Längsglied (7) ermittelt wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass aus der am Ausgang des

22.10.03

Hochfrequenzverstärkers (2) gemessenen Leistung und einem vorgegebenen Sollwert für die Leistung eine vierte Stellgröße für das Längsglied (7) ermittelt wird.

5

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass aus einem am Ausgang des Längsglieds (7) gemessenen Strom und einem vorgegebenen internen Sollwert für den maximalen Strom eine fünfte Stellgröße ermittelt wird.

10

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass dem Längsglied (7) nur die Stellgröße zugeleitet wird, die die stärkste Regelung vornimmt.

15

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Regeldauer für die erste, dritte, vierte und fünfte Stellgröße < 10 ms ist.

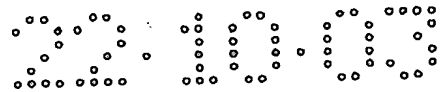
20

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Längsglied (7) und ein mit dem Hochfrequenzverstärker (2) in Verbindung stehender Oszillator (31) synchron ein- und ausgeschaltet werden.

25

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine Regelstufe (5, 23, 25, 26) ebenfalls synchron mit dem Längsglied (7) an- und ausgeschaltet wird.

30



10.Regelanordnung (1, 20, 30) eines Hochfrequenzverstärkers (2) zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche mit einem dem Hochfrequenzverstärker (2) vorgeschalteten Längsglied (7),
5 dadurch gekennzeichnet, dass dem Längsglied (7) eine erste Regelstufe (5) zugeordnet ist, die aus der in eine Last (3) gelieferten und/oder von der Last (3) reflektierten Leistung und einem Sollwert (6) eine erste Stellgröße ermittelt, und dass eine geschaltete Gleichstromversorgungseinheit (9) mit einer ihr zugeordneten zweiten Regelstufe (8) vorgesehen ist, die
10 aus dem Spannungsabfall über dem Längsglied (7) eine zweite Stellgröße ermittelt.

11.Regelanordnung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Längsglied (7) mindestens ein Halbleiterelement, insbesondere einen Transistor aufweist.

12.Regelanordnung nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass eine dritte Regelstufe (23) zum
20 Ermitteln einer dritten Stellgröße vorgesehen ist, der die an einem Schalterelement des HF-Verstärkers anliegende Spannung U_{DS} zugeführt ist und die mit dem Längsglied (7) in Verbindung steht.

13.Regelanordnung nach einem der Ansprüche 10 bis 12 dadurch gekennzeichnet, dass eine vierte Regelstufe
25 (25) zum Ermitteln einer vierten Stellgröße vorgesehen ist, der die am Ausgang des HF-Verstärkers (2) gemessene Leistung zugeführt ist und die mit dem
30 Längsglied (7) in Verbindung steht.

22.10.03

14. Regelanordnung nach einem der Ansprüche 10 bis 13,
dadurch gekennzeichnet, dass eine fünfte Regelstufe
(26) zum Ermitteln einer fünften Stellgröße aus dem
am Ausgang des Längsglieds (7) gemessenen Strom und
5 einem vorgegebenen maximalen Sollwert für den Strom
vorgesehen ist, die mit dem Längsglied (7) in Verbin-
dung steht.

15. Regelanordnung nach einem der Ansprüche 12 bis 14,
10 dadurch gekennzeichnet, dass eine Auswahleinrichtung
(24) zur Auswahl der an das Längsglied (7) zu über-
mittelnden Stellgröße vorgesehen ist..

16. Regelanordnung nach einem der Ansprüche 10 bis 15,
15 dadurch gekennzeichnet, dass ein Befehlsgeber (32),
insbesondere ein Pulsgenerator vorgesehen ist, der
mit einem Oszillator (31) zur Ansteuerung des HF-
Verstärkers (2) und dem Längsglied (7) oder einem mit
dem Längsglied (7) verbundenen Schalterelement (42)
20 verbunden ist.

17. Regelanordnung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeich-
net, dass der Befehlsgeber (32) mit mindestens einer
Regelstufe (5, 23, 25, 26) verbunden ist.

25

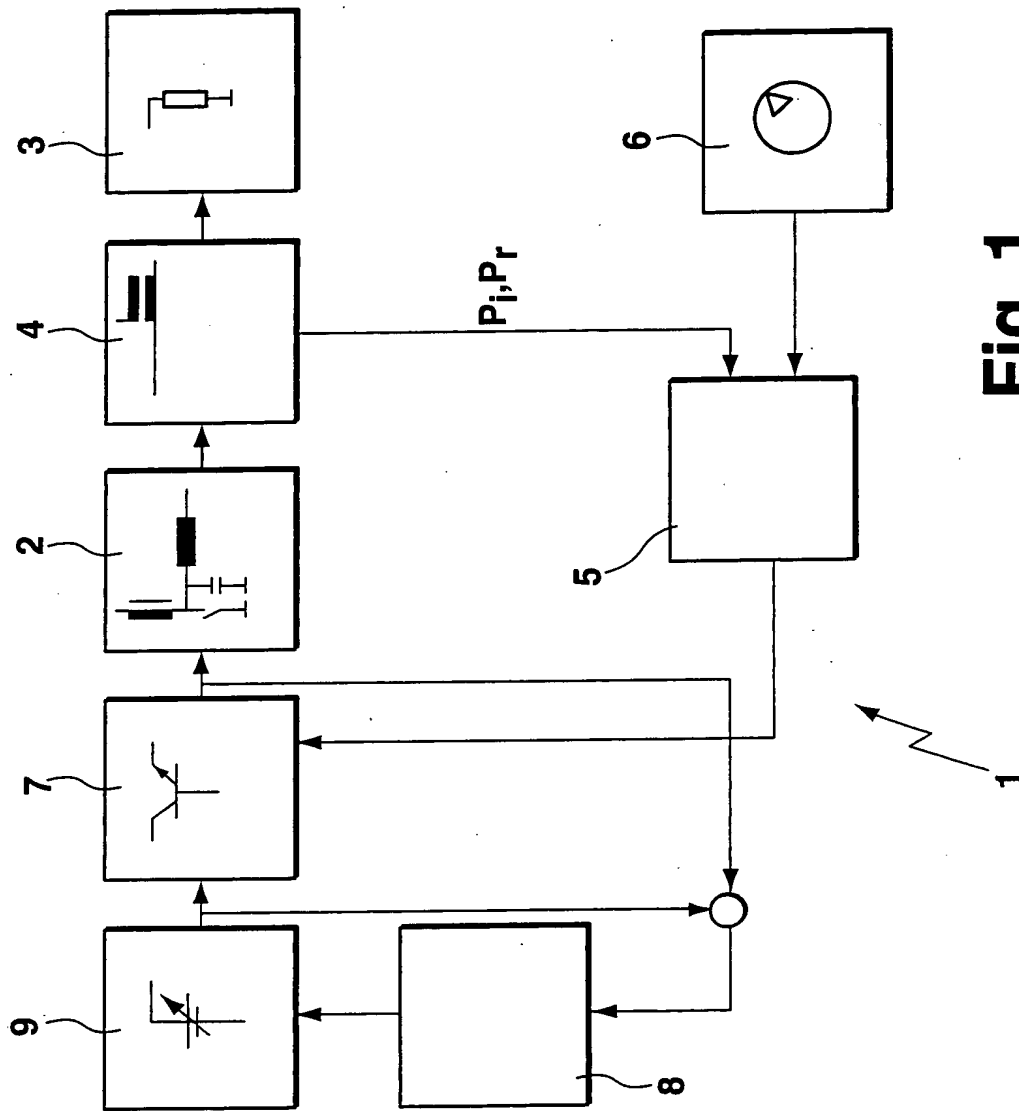
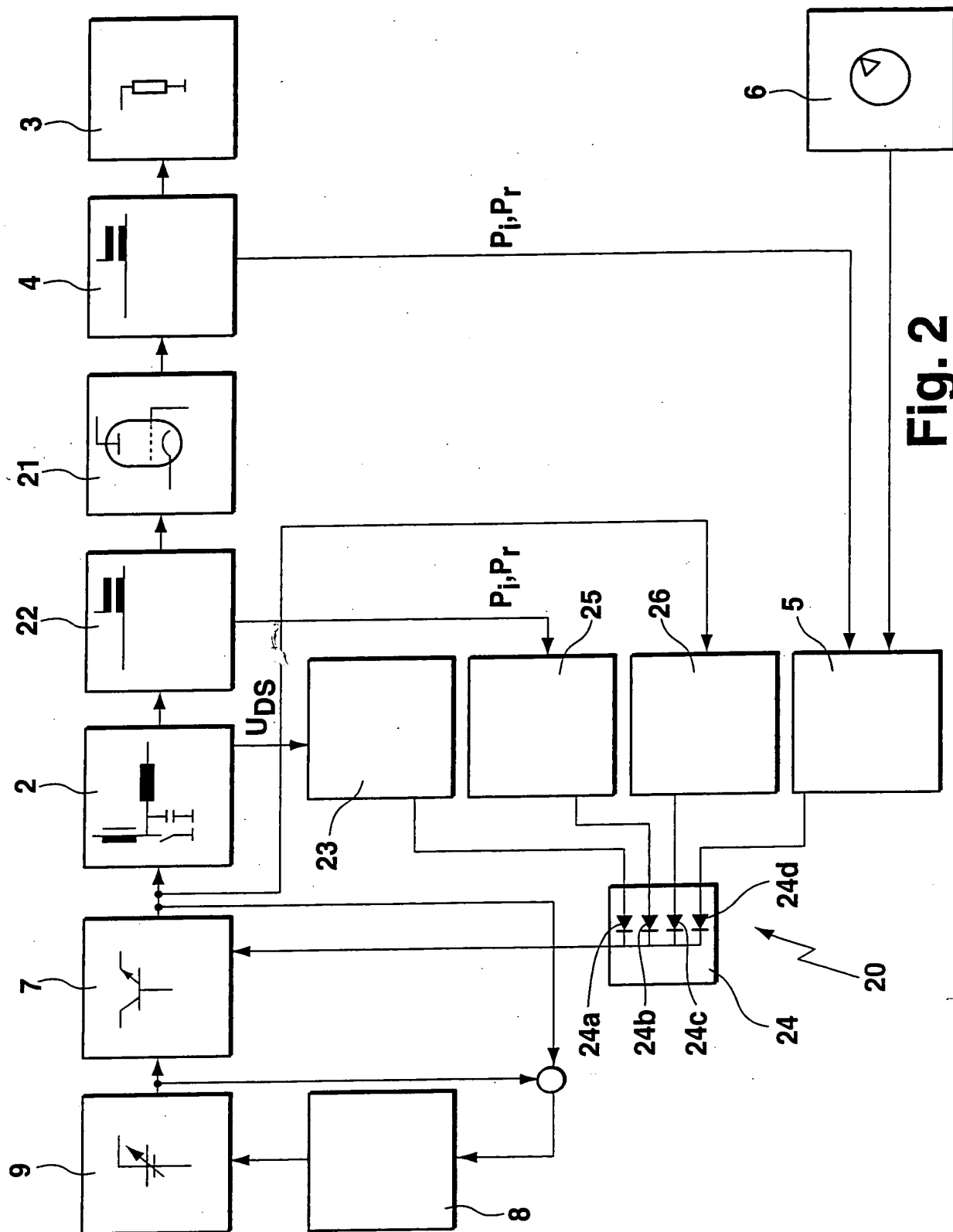


Fig. 1



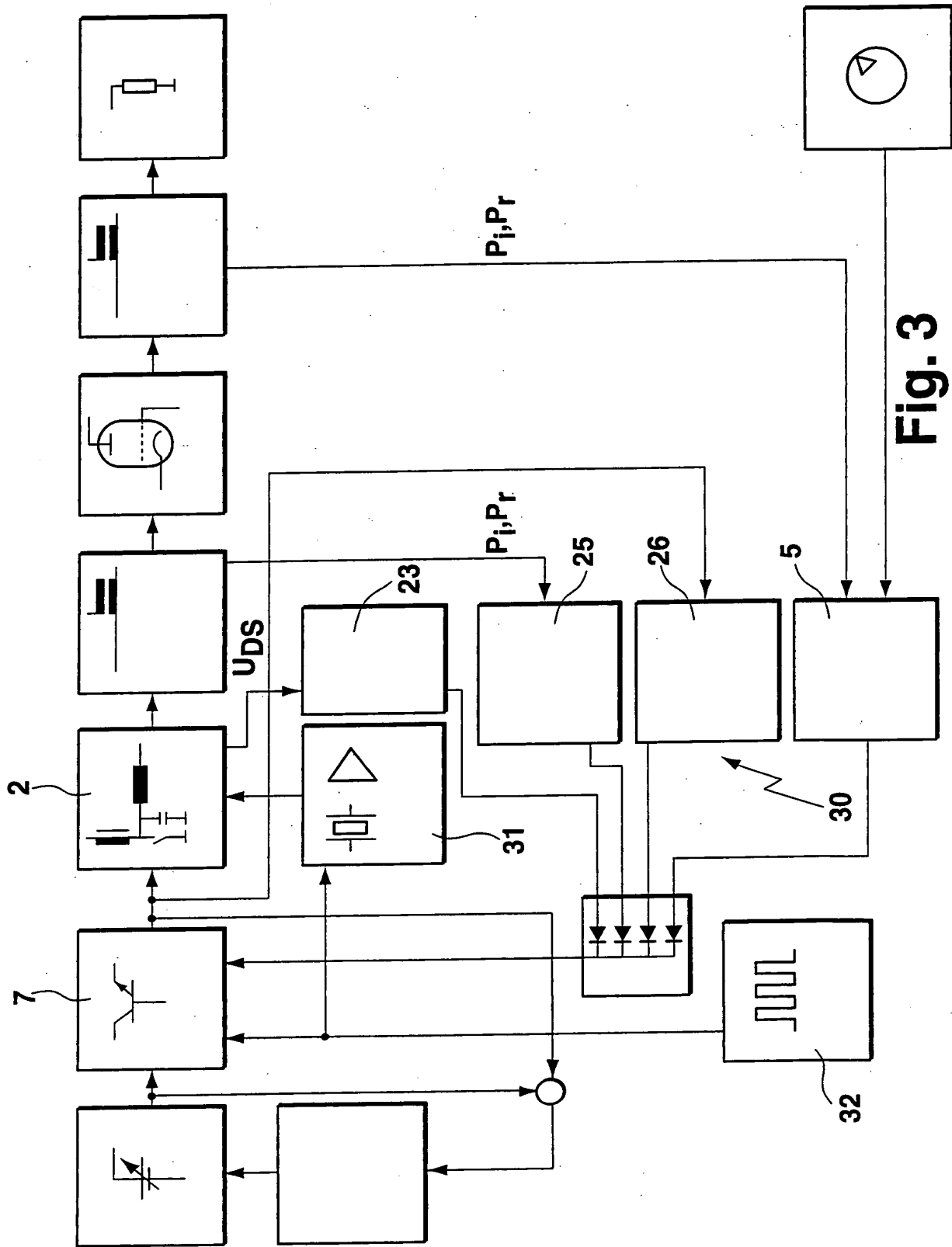
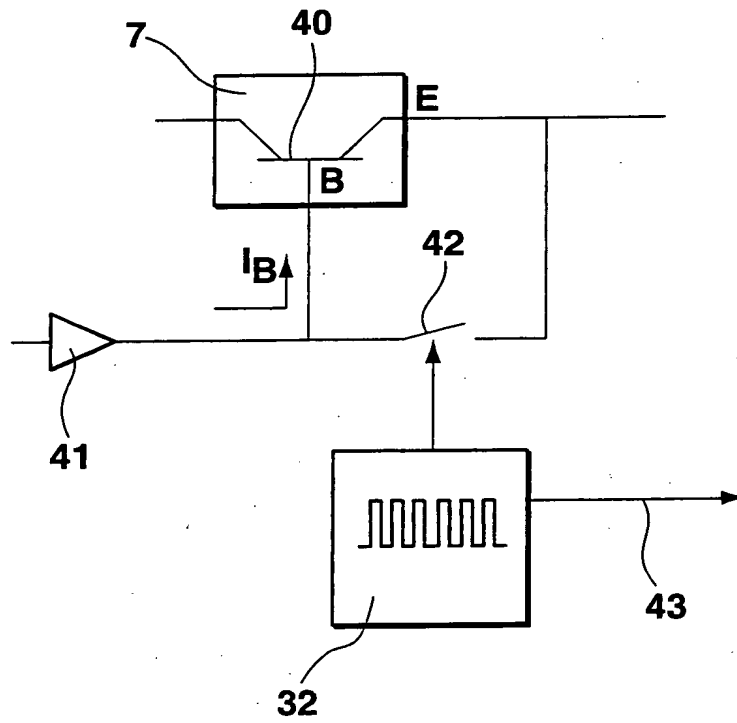


Fig. 3

**Fig. 4**

22.10.03

Zusammenfassung

Bei einem Verfahren zum Regeln der Eingangsspannung eines Hochfrequenzverstärkers (2) wird die in eine Last (3) gelieferte und/oder von der Last reflektierte Leistung gemessen. Es wird eine erste Stellgröße für ein dem Hochfrequenzverstärker (2) vorgeschaltetes Längsglied (7) aus der gemessenen Leistung und einem vorgegebenen Sollwert (6) und eine zweiten Stellgröße für eine geschaltete Gleichstromversorgungseinheit (9) aus dem Spannungsabfall über dem Längsglied (7) ermittelt, derart, dass der Spannungsabfall über dem Längsglied (7) einen vorgegebenen Maximalwert nicht überschreitet und einen vorgegebenen Minimalwert nicht unterschreitet. Dadurch kann eine schnelle Regelung der Eingangsspannung des HF-Verstärkers (2) bei gleichzeitiger Minimierung der Verlustleistung im Längsglied (7) erfolgen.

(Fig. 1)

22.10.03

